液态发酵饲料在养猪生产上的应用[1]

官小凤[1]　刘志云[2,3]　黄金秀[2,3]　杨飞云[2,3]　刘作华[2,3*]

（1.西南大学动物科学学院，重庆 402460；2.重庆市畜牧科学院，重庆 402460；3.养猪科学重庆市市级重点实验室，重庆 402460)

摘　要：现代意义上的液态发酵饲料是食品工业副产品及农副产品或饲料与水按 1.0:1.5 至 1:4 混合后，经充分发酵后形成稳定状态的饲料，具有抑制病原菌增殖、提高畜禽生长性能、改善胃肠道健康、扩大饲料来源、降低生产成本等优势。自欧盟宣布全面禁止使用抗生素类饲料添加剂以来，人们在安全、有效的无抗饲料的生产与应用技术方面开展了大量研究，液态发酵饲料作为一种无抗饲料，具有广泛的应用前景。本文就液态发酵饲料的生产工艺、品质影响因素及其在养猪生产上的应用进行综述，以期为液态发酵饲料的推广应用提供参考。

关键词：液态发酵；发酵品质；影响因素；猪；生长性能；胃肠道健康

中图分类号：S816

抗生素作为饲料添加剂，可预防动物疾病、改善动物健康、提高饲料转化率，但随着抗生素类药物的大量使用，畜禽产品药物残留及细菌耐药性等问题日益严重。自欧盟宣布全面禁止使用抗生素类饲料添加剂以来，人们开始寻找安全、有效的无抗饲料。液态发酵饲料作为一种新型无抗饲料，具有抑制病原菌增殖、提高畜禽生长性能、改善胃肠道健康、扩大饲料来源、降低生产成本等优势，可实现畜禽饲养过程中少用甚至不使用抗生素的目标。液态发酵饲料在欧洲国家的畜牧养殖业中应用比较广泛，特别是丹麦、荷兰等农业密集型国家的应用较多，法国、瑞士、西班牙也陆续开始使用。目前，我国在液态发酵饲料的生产实践方面存在发酵技术不成熟、发酵产品品质不稳定、缺乏与生产配套的饲喂系统及一次性投入成本太大等问题，制约了液态发酵饲料在国内的推广与应用。本文就液态发酵饲料的生产工艺、品质影响因素及其在养猪生产上的应用进行综述，以期为液态发酵饲料的推广应用提供参考。

收稿日期：2018-04-19

基金项目：国家生猪产业技术体系（CARS-35）；农业部农业科研杰出人才培养计划（16202）；重庆市农发资金项目（18502）

作者简介：官小凤（1992—），女，四川南充人，硕士研究生，养殖专业。E-mail: 13627609867@qq.com

*通信作者：刘作华，研究员，E-mail: liuzuohua66@163.com

1　液态发酵饲料的生产工艺及品质

液态饲料分为未发酵和发酵 2 种。前者指饲料和水按一定比例混合的即用饲料。后者是将发酵基料与水按 1.0:1.5 至 1:4 混合均匀后，通过发酵液中微生物的代谢活动将饲料中的多糖、蛋白质和脂肪等大分子物质降解为小分子物质，分解或转化饲料中抗营养因子，产生有机酸（主要是乳酸）、细菌素、消化酶等有益代谢产物，最终形成的一种低 pH、稳定状态、富含益生物质、更易被畜禽消化和吸收的饲料[1-2]。

1.1　液态发酵饲料的生产

液态发酵饲料的生产存在多种发酵形式，按发酵基料可分为全价料液态发酵和谷物部分液态发酵。前者是生产液态发酵饲料最简单的方式[3]；但易导致维生素、氨基酸（尤其是合成氨基酸）等养分不可逆的丢失[3-6]。后者是先将谷物部分的液态发酵完成后，再与其他原料混合成液态全价料[1]。与前者相比，这种发酵形式不仅可避免养分丢失，还因其发酵基料成分较单一具有更低的缓冲力，使发酵可快速进行且品质更稳定，也是目前应用较多的一种发酵形式[6-8]。

按发酵方式可分为自然发酵和接种发酵（定向发酵或诱导发酵）。自然发酵是利用天然存在于发酵基料中的微生物进行发酵，操作简单[6,9]；但易使肠杆菌等杂菌大量增殖而使发酵进程不可控[10]，并产生生物胺和高浓度的乙酸，影响饲料适口性，降低饲料品质[5-6]。接种发酵是将特定的益生菌接种于发酵基料，使发酵快速启动且定向进行[7,11]。研究表明，发酵过程中低 pH 和高浓度乳酸是抑制肠杆菌等致病菌增殖的重要保障[1]，也是缓解谷物部分发酵结束后混合其他原料时 pH 大幅上升而使病原菌爆发式增殖的有效策略[8]。因此，选用的发酵菌种应具备快速增殖、大量产生乳酸、快速降低发酵基料 pH 的特点。目前，猪用液态发酵饲料常用的菌种为植物乳酸杆菌和戊糖片球菌[1]。此外，根据发酵基料不同，可将酵母菌、芽孢杆菌与乳酸菌进行组合发酵，以达到提高饲料菌体蛋白含量、降解饲料抗营养因子等特定的发酵目的[12]。

按发酵工艺可分为批次发酵和连续发酵（引子发酵）。连续发酵是在发酵罐中保留一定比例（20%~50%[13]）的发酵产物，再混合新鲜发酵基料和水进行连续发酵[11]。此工艺可保证发酵连续进行，

生产率高[13]；但易导致杂菌大量增殖成为优势菌群而降低饲料品质[9]。批次发酵不同于连续发酵，发酵罐中无需保留发酵产物。若出现不良发酵，仅一批饲料受影响，发酵可控且品质更稳定[4-5]；但每次发酵结束后均需清洗发酵罐，添加新的发酵基料和水，发酵设备要求高且操作繁杂[9,14]。

1.2 液态发酵饲料的品质及影响因素

优质液态发酵饲料的 pH 应低于 4.5，乳酸菌活菌数高于 10^9 CFU/mL，乳酸浓度高于 150 mmol/mL，乙酸和乙醇浓度分别低于 40.0、0.8 mmol/mL[15]。高浓度的乳酸可降低饲料 pH，有利于提高饲料适口性，抑制病原菌增殖[7]。乳酸浓度高于 7 mmol/mL 时，可抑制沙门氏菌增殖；乳酸浓度高于 100 mmol/mL 时，可抑制大肠杆菌增殖[16-18]。乙酸和乙醇浓度过高会产生“异味”，影响饲料适口性[5]。

微生物的种类和数量是影响液态发酵饲料品质的一个主要因素[18]。发酵时乳酸菌占主导地位时，乳酸可快速生成，有利于提高饲料适口性，抑制诸如大肠杆菌、沙门氏菌等病原菌的增殖[1]。酵母菌占主导地位时，对饲料品质的影响具有两面性：一方面，酵母随饲料进入畜禽消化道后，可将肠道致病菌吸附在自身表面以阻断其与肠黏膜的结合[19-20]；另一方面，酵母增殖会大量消耗发酵基料中碳水化合物并产生乙醇、乙酸及二氧化碳等物质[5,21]，影响饲料适口性及干物质含量。在生产实践中后者的影响更大，因此，需避免以酵母为主的发酵。甲酸、山梨甲酸、苯甲酸等弱酸的加入会抑制酵母的生长，对乳酸菌无影响[22]。

发酵时间、温度、pH、容氧量等参数也会影响液态发酵饲料的品质，其中发酵时间和温度的影响最大。在一定范围内，随着发酵温度的提升和发酵时间的延长，乳酸的产率和累积量增大，抑制病原菌增殖的效果更好。发酵时间超过 72 h 时，易导致发酵过度而使饲料碳水化合物被大量消耗[23]。为保证发酵效果，生产液态发酵饲料的温度不能低于 15 ℃[19]；发酵温度高于 20 ℃时，饲料品质差异不大[19]；当温度上升至 30 ℃时，乳酸产率显著增大[16]。料水比在一定范围内对液态发酵饲料的品质无太大影响，主要影响饲料的干物质含量。料水比过高，饲料干物质含量大幅提高，饲料流动性降低，易黏附于运输管道进而发生变质；料水比过低，易降低畜禽干物质采食量，进而影响其生长性能。生产液态发酵饲料的料水比一般在 1.0:1.5 至 1:4 之间，猪用液态发酵饲料常用 1:2 或 1:3[14,18]。

2 液态发酵饲料在养猪生产上的应用

2.1 液态发酵饲料在断奶仔猪上的应用

液态发酵饲料作为一种新型饲料，在欧洲国家应用较为广泛，特别是在断奶仔猪上的应用优势已被大量试验所证明。目前，国内在液态发酵饲料的应用方面也主要集中在断奶仔猪上，用于缓解仔猪断奶应激，促进采食，降低失重。

2.1.1 液态发酵饲料对断奶仔猪生长性能的影响

诸多试验证实，液态发酵饲料可提高断奶仔猪的平均日采食量和平均日增重。相比固态饲料，断奶仔猪饲喂谷物液态发酵饲料[24]或全价料液态发酵饲料[25]时，平均日采食量分别提高了22.63%、1.96%，平均日增重分别提高了13.50%、11.68%。液态发酵饲料因其含有高浓度乳酸，具有酸香味，可刺激仔猪采食；加之其物理性状与母乳相似，同时提供了养分和水，可避免仔猪由于学习使用饮水器耗时过长，出现脱水而降低采食量[26]。此外，仔猪采食干物质含量在14.5%~25.5%的液态发酵饲料时，会减少非饲料水的摄入，使干物质采食量达到最大化[27]。

液态发酵饲料在提高断奶仔猪平均日采食量和平均日增重方面的报道较一致，而在饲料转化率方面有不同报道。陈鲜鑫等[28]发现，饲喂液态发酵饲料的断奶仔猪粗蛋白质、钙、总磷的消化率分别较固态饲料提高了3.66%、3.85%、15.53%，料重比降低了3.40%。李小燕[29]发现，饲喂液态发酵饲料的仔猪饲料转化率分别较颗粒料和粉料提高了8.68%、10.90%。而李永明等[24]研究表明，相比固态饲料，饲喂液态发酵饲料的断奶仔猪料重比提高了7.65%。一般认为，接种于发酵基料中的益生菌通过降解饲料大分子物质为可吸收利用的小分子物质、减少饲料原料抗营养因子含量、产生有机酸和酶等有益代谢产物的作用，可提高饲料养分利用率，进而提高仔猪生长性能[30]。在仔猪平均日采食量、平均日增重获得提高的前提下，饲料转化率呈下降现象，这可能与仔猪个体采食面积、采食行为及饲槽设计等造成的饲料浪费有关[27]。

2.1.2 液态发酵饲料对断奶仔猪胃肠道健康的影响

液态发酵饲料可改善仔猪胃肠道健康，降低断奶仔猪腹泻率。李小燕[29]发现，饲喂液态发酵饲料

的仔猪腹泻率较粉料和颗粒料分别降低了 53.89%、3.36%。李洁等[25]发现饲喂液态发酵乳猪料的仔猪的腹泻率较饲喂固态饲料降低了 54.88%。液态发酵饲料能降低仔猪腹泻率，是多方面因素共同作用的结果。

首先，饲喂液态发酵饲料可缓解仔猪在断奶阶段由于胃酸分泌不足而造成胃内 pH 上升的问题，进而增强胃蛋白水解酶活性，延缓胃排空时间，提高蛋白质消化率，减少由蛋白质营养过剩引起的腹泻[13,31-32]。

其次，饲喂液态发酵饲料能缓解断奶应激对肠绒毛结构的不利影响，改善肠黏膜形态结构。Scholten 等[33]发现，相比非发酵液态饲料，饲喂谷物液态发酵饲料的仔猪肠绒毛高度提高了 25.44%，绒毛长度/隐窝深度提高了 36.36%，绒毛形态结构得到改善。这不仅是因液态发酵饲料黏度小，对肠壁损伤小；还可能与仔猪更易从液态发酵饲料中获取全面均衡的养分有关。此外，饲喂液态发酵饲料的仔猪，盲肠内挥发性脂肪酸（尤其是丁酸）浓度增加，这对肠细胞的生长、增殖和维持肠黏膜结构的完整性有重要作用[30,34-35]。

最后，液态发酵饲料能调控断奶仔猪胃肠道菌群的组成与平衡，降低其胃肠道疾病发病率。研究发现，饲喂液态发酵饲料的断奶仔猪胃和小肠内乳酸菌数量显著增加[3,13]，消化道后段乳酸菌比例高于大肠杆菌[8]，粪便中大肠杆菌数量降低，乳酸菌数量增加[24]。正如前文所述，液态发酵饲料可降低仔猪胃内 pH[3]，提高胃对病原菌的天然屏障能力，使病原菌无法通过胃部而定植于肠道内[36]。接种于饲料的益生菌可随饲料进入消化道，在消化道各部通过产生有益代谢产物（如乳酸、细菌素、神经递质、挥发性脂肪酸等）发挥抑菌、抗氧化、免疫调节的功能[30,37]；并通过降低胃肠道 pH、消耗氧气[20,30,38]、与病原菌竞争养分和定植位点[30,39]等作用，正向调节胃肠道菌群结构[37]，减少消化道病原菌数量，降低胃肠道疾病发病率和腹泻率。

2.2 液态发酵饲料在生长育肥猪上的应用

液态发酵饲料在生长育肥猪上的饲喂效果不如仔猪明显，加之缺乏配套的饲喂系统，因此，目前国内关于液态发酵饲料在生长育肥猪上的应用报道非常少。欧洲国家，大型育肥猪场常采用大量廉价原

料生产液态发酵饲料，以降低生产成本，提高养殖效益。

2.2.1 液态发酵饲料对生长育肥猪生长性能的影响

液态发酵饲料对生长育肥猪生长性能的影响报道结果不一。Jsenen 等[19]报道，生长育肥猪饲喂处于自然发酵状态下的液态饲料，其平均日增重和饲料效率分别提高了 4.4%、6.9%。陈鲜鑫等[40]发现，相比固态饲料与非发酵液态饲料，生长育肥猪饲喂接种乳酸菌发酵的液态饲料，其平均日增重分别提高了 34.03%，16.86%，料重比分别下降了 15.84%、19.83%。而 Canibe 等[3]研究表明，相比非发酵液态饲料和颗粒料，自然发酵 4 d 的液态发酵饲料对生长育肥猪的生长性能并无显著影响。液态发酵饲料对生长育肥猪生长性能的影响呈现差异，这可能与饲料的发酵方向与发酵程度不一致有关。饲喂发酵合理的液态饲料，可提高生长育肥猪的回肠粗蛋白质、粗纤维、中性洗涤纤维末端表观消化率及粗蛋白质的粪表观总消化率[41-42]；相反，过度发酵会使淀粉等碳水化合物被大量消耗而降低饲料干物质含量，甚至产生乙酸、乙醇等副产物，降低饲料品质[23]。此外，料水比不合理，对饲料的干物质含量和饲料适口性均有不利影响。

2.2.2 液态发酵饲料对生长育肥猪胴体品质的影响

液态发酵饲料对生长育肥猪的生长性能及胃肠道健康改善程度不如仔猪明显，但对其胴体品质有较大影响[42]。未去势育肥公猪饲喂液态发酵饲料后，其肠道后段中色氨酸转化成吲哚而非粪臭素，使背最长肌和皮下脂肪中粪臭素浓度降低，进而减少了公猪膻味[43]。李敏等[44]用枯草芽胞杆菌、乳酸杆菌和酿酒酵母菌等复合菌种发酵玉米、豆粕、麦麸、棉籽粕及次粉的混合物饲喂生长育肥猪，发现其肉品质得到有效提升，肉色红度值、肌肉嫩度、肌内脂肪含量及肌肉风味物质含量提高，滴水损失降低。生长育肥猪胴体品质得以改善可能与发酵改变了饲料中的呈味氨基酸和小肽的组成有关。

2.2.3 液态发酵饲料对生长育肥猪生产成本的影响

与仔猪不同，生长育肥猪机体各方面发育相对完善，对液态发酵饲料的反应不如仔猪明显，但在降低饲料成本方面具有独特优势。液态发酵饲料中可采用大量食品加工业副产品及其他农副产品，扩大饲料来源，提质增效。研究表明，饲喂液态发酵饲料可提高生长育肥猪干物质的表观总肠道消化率[45]，

将饲料蛋白质的损耗和费用降低 6%[46]。这是因为微生物的发酵过程提高了饲料粗蛋白质、小肽及氨基酸含量，并产生了大量生物酶[30]；同时使饲料原料中磷被更多的释放出来，进而提高了饲料蛋白质及有效磷的利用率[9,31,43,47]。这不仅可减少饲料中磷、蛋白质、氨基酸的额外添加，提高养分利用率，降低单位增重的饲料成本；还可减少粪尿中磷、硫、氮及刺激性气味气体的排放，提高饲养人员和猪群健康水平，减少药物使用，降低用药成本。

生长育肥猪饲喂液态发酵饲料并搭配配套的饲喂系统，可减少人力成本，并实现精准供给（精度可达 99.8%[32]），减少饲料浪费。此外，寒冷季节饲喂液态发酵饲料，能减少用于暖化饲料的能量消耗（每只猪平均每天需消耗 1.44 MJ 能量才能将 8 ℃的固态饲料暖化成 38 ℃[46]），避免冷应激引起的疾病，提高养殖效益。

2.3 液态发酵饲料在母猪上的应用

欧洲国家，液态发酵饲料在母猪上的应用较多，丹麦 30%以上的母猪使用液态发酵饲料。目前，国内液态发酵饲料在母猪上的应用还相对较少，主要用以保持母猪体况，提高产仔性能。

2.3.1 液态发酵饲料对母猪生长性能的影响

液态发酵饲料可提高母猪采食量、保持母猪体况、降低母猪淘汰率。Hong 等[48]发现，相比固态饲料，饲喂自然发酵状态下的液态饲料的母猪在哺乳期间的体重损失降低了 140.24%。John[49]发现，相比固态饲料，饲喂液态发酵饲料的母猪平均日采食量和年产仔数分别提高了 5.2%、12.0%，仔猪死亡率降低了 13.8%。哺乳母猪的营养利用主要集中在产奶上，能量摄入不足将导致母猪消耗自身能量储备来满足泌乳需要，致使母猪在泌乳期间严重失重。液态发酵饲料因其特殊的物理性状，具有适口性好、体积大、易形成饱腹感等特点[31]，可刺激母猪采食，有利于妊娠母猪获得较多水分，减少生殖系统疾病和便秘；有利于胃容积的维持，可使产后母猪迅速恢复食量，为泌乳储备更多能量，使仔猪获得更多营养。此外，相比固态饲料，饲喂液态发酵饲料的母猪初乳中免疫球蛋白活性增加，淋巴细胞和肠细胞有丝分裂活性增强[50]，这有利于新生仔猪被动免疫能力的提高。

2.3.2 液态发酵饲料对母猪及其后代胃肠健康的影响

新生仔猪拥有无菌肠道，主要通过与母体和环境接触形成自身的微生物区系[37,51]。母猪体内的大肠杆菌在分娩前由于压力作用而大量增殖，这使仔猪一出生便暴露在一个高风险感染环境中，饲喂液态发酵饲料可有效避免这一情况。Demecková等[50]发现，相比固态饲料，饲喂液态发酵饲料的母猪粪便中大肠杆菌数量显著降低，乳酸菌数量显著增加；同时饲喂液态发酵饲料的母猪后代的粪便中乳酸菌数量提高了5.5%，大肠杆菌数量降低了7.3%。可见，液态发酵饲料通过降低母猪及其后代粪便中的病原菌数量，可创造一个有利于新生仔猪微生物区系的建立与平衡的环境。再者，有研究发现液态发酵饲料中的益生菌可在母猪及其后代间垂直传播，这对新生仔猪免疫系统的发育及未来胃肠道生理学具有重要意义[52-53]。

3 小结与展望

液态发酵饲料作为一种新型饲料，具有提高猪生长性能、改善胃肠道健康、提高饲料消化率、扩大饲料来源、降低饲料成本等优势，但这些优势均需建立在合理的饲粮组成、成熟的发酵技术及完善的配套生产系统及饲喂系统上。目前，由于液态发酵技术不成熟、发酵饲料品质不稳定、缺乏完善的饲喂系统及一次性投入成本太大等问题，制约了液态发酵饲料在国内的推广应用。在发酵技术方面，国内外的相关研究较多，发酵工艺也在不断优化。在实际应用方面，往往需要根据实际的应用情况对饲料配方、饲喂模式进行调整，使液态发酵饲料在不同种类动物、同种动物的不同阶段均可发挥最大生产优势。此外，由于缺乏完善的饲喂系统，致使液态发酵饲料的生产和饲喂2个环节脱节，进而使其在饲喂过程中极易发生腐败变质。液态发酵饲料因特殊的物理性状，使其具有独特的优势，但若没有配套的饲喂系统，会大大提高人力成本。因此，需要加强与液态发酵饲料生产相匹配的饲喂系统的研发与推广。随着发酵技术的进一步成熟，生产系统、饲喂系统的完善与推广及合理的饲喂模式的建立，液态发酵饲料被养殖企业户所接受将成为一种趋势，具有广泛的应用前景。

参考文献：

[1] MISSOTTEN J A M,MICHIELS J,OVYN A,et al.Fermented liquid feed for pigs[J].Archives of Animal Nutrition,2010,64(6):437–466.

[2] 黄春喜,刘晓慧,张立彬,等.发酵液体饲料的生产及其在断奶仔猪上的应用[J].饲料工业,2014(增刊1):1–3.

[3] CANIBE N,JENSEN B B.Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs:effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance[J].Journal of Animal Science,2003,81(8):2019–2031.

[4] BROOKS P H.Liquid feeding as a means to promote pig health[C]//MURPHY J M,LANGC F M D.3rd London swine conference:maintaining your competitive edge.London:[s.n.],2003:83–103.

[5] BROOKS P H,BEAL J D,NIVEN S,et al.Liquid feeding of pigs. Ⅱ.Potential for improving pig health and food safety[J].Animal Science Papers and Reports,2003,21(Suppl 1):23–39.

[6] NIVEN S J,BEAL J D,BROOKS P H.The effect of controlled fermentation on the fate of synthetic lysine in liquid diets for pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2006,129(3/4):304–315.

[7] CANIBE N,JENSEN B B.Fermented liquid feed:microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2012,173(1/2):17–40.

[8] MORAN C A,SCHOLTEN R H J,TRICARICO J M,et al.Fermentation of wheat:effects of backslopping different proportions of pre-fermented wheat on the microbial and chemical composition[J].Archives of Animal Nutrition,2006,60(2):158–169.

[9] BROOKS P H.Fermented liquid feed for pigs[Z].CAB Review:Perspectives in Agriculture,Veterinary Science,Nutrition and Natural Resources,2008.

[10] BEAL J D,NIVEN S J,BROOKS P H,et al.Variation in short chain fatty acid and ethanol concentration resulting from the natural fermentation of wheat and barley for inclusion in liquid diets for pigs[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2005,85(3):433–440.

[11] NOUT M J R,ROMBOUTS F M,HAVELAAR A.Effect of accelerated natural lactic fermentation of infant good ingredients on some pathogenic microorganisms[J].International Journal of Food Microbiology,1989,8(4):351–361.

[12] 赵倩明,占今舜.发酵液体饲料常用菌种在养猪产业的应用[J].猪业科学,2017,34(1):92–93.

[13] MISSOTTEN J A,MICHIELS J,DEGROOTE J,et al.Fermented liquid feed for pigs:an ancient technique for the future[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2016,6(1):4.

[14] PLUMED-FERRER C,VON WRIGHT A.Fermented pig liquid feed:nutritional,safety and regulatory aspects[J].Journal of Applied Microbiology,2009,106(2):351–368.

[15] VAN WINSEN R L,URLINGS B A P,LIPMAN L J A,et al.Effect of fermented feed on the microbial population of the gastrointestinal tracts of pigs[J].Applied and Environmental Microbiology,2001,67(7):3071–3076.

[16] BEAL J D,NIVEN S J,CAMPBELL A,et al.The effect of temperature on the growth and persistence of *Salmonella* in fermented liquid pig feed[J].International Journal of Food Microbiology,2002,79(1/2):99–104.

[17] MORAN C A,BEAL J D,CAMPBELL A,et al.The survival of potentially pathogenic *E. coli* in fermented liquid feed[M]//LINDBERGI J E,OGLE B.Digestive Physiology in Pigs.Proceedings of the 8th Symposium.Wallingford:CABI Publishing,2001:351–353.

[18] NIBA A T,BEAL J D,KUDI A C,et al.Potential of bacterial fermentation as a biosafe method of improving feeds for pigs and poultry[J].African Journal of Biotechnology,2009,8(9):1758–1767.

[19] JENSEN B B,MIKKELSEN L L.Feeding liquid diets to pigs[M]//WISEMAN J.Recent developments in pig nutrition.Nottingman:Nottingman University Press,1998:107–126.

[20] AREVALO-VILLENA M,BRIONES-PEREZA A,CORBO M R,et al.Biotechnological application of *Yeasts* in food science:starter cultures,probiotics and enzyme production[J].Journal of Applied Microbiology,2017,123(6):1360–1372.

[21] MORAN C A.Developments and benefits of liquid feeding through fermentation for the post-weaned pig[D].Ph.D.Thesis.Plymouth:University of Plymouth,2001.

[22] PLUMED-FERRER C,VON WRIGHT A.Antimicrobial activity of weak acids in liquid feed fermentations,and its effects on *Yeasts* and *Lactic acid bacteria*[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2011,91(6):1032–1040.

[23] SCHOLTEN R.Fermentation of liquid diets for pigs[D].Ph.D.Thesis.Wageningen:Wageningen Universiteit,2001.

[24] 李永明,徐子伟,李芳,等.发酵谷物液体饲料对超早期断奶仔猪生长性能和肠道微生物菌群多样性的影响[J].动物营养学报,2010,22(6):1650–1657.

[25] 李洁,张孟阳,郭宏,等.仔猪液体发酵饲料工艺的研制[J].饲料工业,2017,38(15):15–21.

[26] BARBER J.The rationalisation of drinking water supplies for pig housing[D].Ph.D.Thesis.Plymouth:Polytechnic South West,1992.

[27] RUSSELL P J,GEARY T M,BROOKS P H,et al.Performance,water use and effluent output of weaner pigs fed ad libitum with either dry pellets or liquid feed and the role of microbial activity in the liquid feed[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2015,72(1):8–16.

[28] 陈鲜鑫,王金全,刘震坤,等.玉米乳杆菌发酵液体饲料对断奶仔猪生产性能、养分消化率(全收粪法)和血清生化免疫指标的影响[J].饲料研究,2017(5):5–9,39.

[29] 李小燕.液体发酵饲料的研制及其对断奶仔猪生长性能的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽大学,2013.

[30] WANG C,SHI C Y,ZHANG Y,et al.Microbiota in fermented feed and swine gut[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2018,102(7):2941–2948.

[31] LYBERG K,LUNDH T,PEDERSEN C,et al.Influence of soaking,fermentation and phytase supplementation on nutrient digestibility in pigs offered a grower diet based on wheat and barley[J].Animal Science,2006,82(6):853–858.

[32] RADECKI S V,JUHL M R,MILLER E R.Fumaric and citric acids as feed additives in starter pig

diets:effect on performance and nutrient balance[J].Journal of Animal Science,1988,66(10):2598–2605.

[33] SCHOLTEN R H J,VAN DER PEET-SCHWERING C M C,DEN HARTOG L A,et al.Fermented wheat in liquid diets:effects on gastrointestinal characteristics in weanling piglets[J].Journal of Animal Science,2002,80(5):1179–1186.

[34] TAJIMA K,OHMORI H,AMINOV R I,et al.Fermented liquid feed enhances bacterial diversity in piglet intestine[J].Anaerobe,2010,16(1):6–11.

[35] NIELSEN D S G,JENSEN B B,THEIL P K,et al.Effect of butyrate and fermentation products on epithelial integrity in a mucus-secreting human colon cell line[J].Journal of Functional Foods,2018,40:9–17.

[36] 夏耀耀,任文凯,黄瑞林,等.仔猪肠道微生物研究进展[J].中国实验动物学报,2017,25(6):681–688.

[37] SÁNCHEZ B,DELGADO S,BLANCO-MÍGUEZ A,et al.Probiotics,gut microbiota,and their influence on host health and disease[J].Molecular Nutrition and Food Research,2016,61(1),doi:10.1002/mnfr.201600240.

[38] 麻名汉.液体发酵饲料对断奶仔猪肠道健康的影响探究[J].现代畜牧科技,2017(6):50.

[39] CASEY P G,CASEY G D,GARDINER G E,et al.Isolation and characterization of anti-*Salmonella* lactic acid bacteria from the porcine gastrointestinal tract[J].Letters in Applied Microbiology,2004,39(5):431–438.

[40] 陈鲜鑫,王金全,王春阳,等.乳酸菌发酵液体饲料对生长猪生长性能和粪中微生物区系的影响[J].饲料工业,2010,31(4):40–42.

[41] HONG T T T,LINDBERG J E.Effect of cooking and fermentation of a pig diet on gut environment and digestibility in growing pigs[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):135–137.

[42] DUNG N N X,MANH L H,OGLE B.Effects of fermented liquid feeds on the performance,digestibility,nitrogen retention and plasma urea nitrogen (PUN) of growing-finishing

pigs[J].Livestock Research for Rural Development,2005,17(9):102.

[43] JØRGENSEN H,SHOLLY D,PEDERSEN A Ø,et al.Fermentation of cereals-influence on digestibility of nutrients in growing pigs[J].Livestock Science,2010,134(1/2/3):56–58.

[44] 李敏,武进,张石蕊,等.微生物发酵饲料对育肥猪生长性能、胴体性能及肉质的影响[J].湖南饲料,2012(2):16–21.

[45] 赵伟,PEDERSEN C,STEN H H.液体发酵饲料对生长育肥猪的能量、干物质、蛋白质以及磷消化率的影响[J].饲料与畜牧,2015(11):25–27.

[46] SCHONBAUER H.发酵液态饲料:从肠道健康入手改善猪群健康-稀料饲喂系统的发展历史及运用前景[J].今日养猪业,2016(5):28–31.

[47] SHI C,ZHANG Y,YIN Y,et al.Amino acid and phosphorus digestibility of fermented corn-soybean meal mixed feed with *Bacillus* subtilis and *Enterococcus faecium* fed to pigs[J].Journal of Animal Science,2017,95(9):3996–4004.

[48] HONG J S,JIN S S,JUNG S W,et al.Evaluation of dry feeding and liquid feeding to lactating sows under high temperature environment[J].Journal of Animal Science and Technolgy,2016,58:36.

[49] JOHN G.The pipeline pig-feeding revolution[J].The Pig Pen,1998,4:1–8.

[50] DEMECKOVÁ V,KELLY D,COUTTS A G P,et al.The effect of fermented liquid feeding on the faecal microbiology and colostrum quality of farrowing sows[J].International Journal of Food Microbiology,2002,79(1/2):85–97.

[51] KONSTANTINOV S R,AWATI A A,WILLIAMS B A,et al.Post-natal development of the porcine microbiota composition and activities[J].Environmental Microbiology,2010,8(7):1191–1199.

[52] DEMECKOVA V,TSOURGIANNIS C A,BROOKS P H.Beneficial changes of *Lactobacilli*,*Coliforms* and *E.coli* numbers in the feces of farrowing primiparous sows,achieved by fermented liquid feed,positively affect subsequent neonatal colonization[C]//Proceedings of the 9th International

Symposium on Digestive Physiology in Pig.Edmonton,AB:University of Alberta,2003:84–86.

[53] TARAS D,VAHJEN W,SIMON O.Probiotics in pigs-modulation of their intestinal distribution and of their impact on health and performance[J].Livestock Science,2007,108(1/2/3):229–231.

Application of Fermented Liquid Feed in Pig Production[2]

GUAN Xiaofeng[1] LIU Zhiyun[2,3] HUANG Jinxiu[2,3] YANG Feiyun[2,3] LIU Zuohua[2,3*]

（1. *College of Animal Science*, *Southwest University*, *Chongqing* 402460, *China*; 2. *Chongqing Academy of Animal Science*,*Chongqing* 402460, *China*; 3. *Chongqing Key Laboratory of Pig Industry Sciences*, *Chongqing* 402460, *China*）

Abstract: In the modern sense, the fermented liquid feed is a stable state of feed that is fully fermented by some particular probiotics with food industry by-product, the agricultural and sideline products or feed mixed with water at a ratio ranging from 1.0:1.5 to 1:4. It has the ability to inhibit the proliferation of pathogens, improve the growth performance of livestock and poultry, improve the health of the gastrointestinal tract, expand the source of feed, and reduce the production costs. Many studies have been conducted on the production and application of safe and effective non-antibiotics feed since European Union implemented a total ban on the use of antibiotics in feed. The fermented liquid feed, as a non-antibiotics feed, has a wide range of application prospects. In present study, we summarized the production process, factors affecting the quality and its application in pig raising of fermented liquid feed, hoping that it can provide reference for the promotion and application of fermented liquid feed.

Key words: liquid fermentation; fermentation quality; affecting factors; pigs; growth performance; gastrointestinal health

*Corresponding author, professor, E-mail: liuzuohua66@163.com

（责任编辑　武海龙）